

Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 0 836 012 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des  
Hinweises auf die Patenterteilung:  
**02.07.2003 Patentblatt 2003/27**

(51) Int Cl.7: **F15C 5/00**

(21) Anmeldenummer: **97113979.5**

(22) Anmeldetag: **13.08.1997**

(54) **Mikroventil**

Microvalve

Microsoupape

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**DE FR GB IT**

(30) Priorität: **17.09.1996 DE 19637945**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**15.04.1998 Patentblatt 1998/16**

(73) Patentinhaber: **FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT  
ZUR FÖRDERUNG DER  
ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V.  
80636 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Richter, Martin, Dipl.-Phys.  
81675 München (DE)**

• **Kluge, Stefan, Dipl.-Phys.  
80992 München (DE)**

(74) Vertreter: **Schoppe, Fritz, Dipl.-Ing. et al  
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler  
Patentanwälte  
Postfach 246  
82043 Pullach bei München (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**EP-A- 0 314 285 EP-A- 0 465 229  
DE-A- 4 101 575**

**EP 0 836 012 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Ventile zur Steuerung einer Fluidströmung und insbesondere auf Mikroventile und Verfahren zur Herstellung derselben, bei denen eine Ventilklappe von einer Auflagestruktur nur sehr wenig beabstandet ist.

[0002] Fig. 6 zeigt eine Querschnittsansicht eines bekannten Mikroventils, das in dem U.S. Patent Nr. 4,585,209 beschrieben ist. Eine Ventilklappe 160 befindet sich über einer Auflagestruktur 120, die eine Mehrzahl von Ventilöffnungen 140 aufweist. Dieses Mikroventil 100 ist ein Ventil, das normalerweise geschlossen ist.

[0003] Die in Fig. 6 gezeigte Situation bezieht sich auf eine vorhandene Fluidströmung 180 durch die Ventilöffnungen 140, die die Ventilklappe 160 in einen offenen Zustand bewegt. Wird nun zwischen die Auflagestruktur 120 und die Ventilklappe 160 eine elektrische Spannung angelegt, so wird sich die Ventilklappe 160 zur Auflagestruktur 120 hin bewegen und das Mikroventil 100 schließen, wodurch die Fluidströmung 180 gesteuert werden kann. Bei dem Mikroventil 100 in Fig. 6 besteht die mit den Ventilöffnungen 140 versehene Auflageplatte 120 aus Glas, wohingegen die Ventilklappe 160 aus Silizium hergestellt ist. Die Mehrzahl von Ventilöffnungen 140 werden in der Glasplatte 120 mittels Laserbohren gebildet. Wie es in dem U.S. Patent Nr. 4,585,209 beschrieben ist, kann die Glasplatte 120 mittels eines geeigneten Hochfrequenz-Ätzmittels geätzt werden, wobei dann jedoch keine Mehrzahl von Öffnungen gebildet werden kann, sondern lediglich eine einzige Ventilöffnung. Aus Fig. 6 ist zu sehen, daß die Auflagestruktur 120 zwar eine Mehrzahl von Ventilöffnungen 140 aufweist, daß jedoch die bezüglich Fig. 6 ganz rechte Ventilöffnung 140 nicht besonders viel zur Fluidströmung 180 beitragen kann, da die Fluidströmung 180 durch die einseitig aufgehängte Ventilklappe 160 stark behindert wird. Den wesentlichen Anteil zur Fluidströmung werden daher die Ventilöffnungen, die eher auf der linken Seite angeordnet sind, liefern, wodurch ein "effektiver Ventilöffnungsquerschnitt" bei dem bekannten Mikroventil wesentlich kleiner als ein "praktisch wirksamer Ventilöffnungsquerschnitt" ist.

[0004] Ferner ist der Austrittsweg der Fluidströmung 180 durch die geringe Beabstandung der Spitze der Ventilklappe 160 zu der linken Haltestruktur der Ventilklappe begrenzt. Außerdem vergrößern die sich in Richtung des Fluidflusses konisch verkleinernden Ventilöffnungen 140, deren Gestalt durch die Technologie des Laserbohrens festgelegt ist, den Strömungswiderstand des Mikroventils 100.

[0005] Das US-Patent Nr. 4,538,642 offenbart ein schnell wirkendes mechanisches Ventil, das ein erstes mikroporöses planares elektrisch leitfähiges plattenartiges Bauglied 4 aufweist, das eine Mehrzahl von Öffnungen umfaßt. Die Öffnungen des ersten elektrisch leitfähigen Films sind versetzt zu Öffnungen in einem

zweiten mikroporösen planaren elektrisch leitfähigen plattenartigen Bauglied angeordnet. Sowohl der obere Film als auch der untere Film bestehen aus Aluminium. An dem oberen Film ist eine isolierende Schicht, die aus Aluminiumoxid besteht, angebracht. Der obere und der untere Film sind an einem Ende kurzgeschlossen, während an einem anderen Ende eine elektrische Spannung angelegt werden kann. Ein durch die leitfähigen Filme fließender Strom wird in dem oberen Film in der einen Richtung und in dem unteren Film in der entgegengesetzten Richtung zurückfließen. Dieser Stromfluß in entgegengesetzten Richtungen durch die parallelen elektrisch leitfähigen Filme treibt sie aufgrund entgegengesetzter elektromagnetischer Felder voneinander weg, wodurch ein Öffnen des Ventils erreicht wird.

[0006] Die DE 4402096 A1 offenbart ein mikrominiaturisiertes Ventil mit einem kristallinen Substrat, das einen Flußweg und eine angehobene Ventilsitzstruktur aufweist. Das Ventilsitzsubstrat umfaßt eine einzige Ventilöffnung, die gegenüber einer Armatur liegt, die die Ventilöffnung verschließen kann. In geschlossenem Zustand berührt die Armatur einen Ventilsitz, der sich von dem Sitz-Substrat erstreckt, und in Form einer Dichtungslippe um die Ventilöffnung herum gebildet ist. Zur Reduzierung des Strömungswiderstandes sind unterschiedliche Ausgestaltungen des Ventilsitzes bzw. der Dichtungskante um die einzige Ventilöffnung herum offenbart.

[0007] Die EP 0314285 offenbart eine Siliziumventilanordnung zum Steuern des Flusses eines Fluids. Die Silizium-Ventilanordnung besteht aus einer Düsenplatte und einer elastischen Siliziumplatte, die beide zueinander versetzte Öffnungen aufweisen. Die Ventilplatte hat einen vorstehenden Umfangsrand, durch den die Ventilplatte mit der Düsenplatte fest verbunden ist. In der Mitte der Ventilplatte ist eine Ausnehmung vorhanden, durch die ein Betätigungskolben die darunter liegende Düsenplatte auslenken kann, um das Ventil zu öffnen. Aufgrund der Elastizität schließt sich das Ventil selbsttätig, wenn der Betätigungskolben zurückgezogen wird.

[0008] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Mikroventil mit minimalem Strömungswiderstand zu schaffen.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 sowie durch ein Mikroventil gemäß Anspruch 2 gelöst.

[0010] Bei einem Mikroventil limitiert die Stelle mit dem kleinsten Strömungsquerschnitt den Fluiddurchfluß durch das Mikroventil. Aufgrund des bei elektrostatisch betriebenen Mikroventilen vorhandenen geringen Abstands zwischen der Ventilklappe und der Auflagestruktur ist nicht die Querschnittsfläche der Ventilöffnung für den Fluiddurchfluß maßgebend, sondern der Umfang der Ventilöffnung, wobei sich der wirksame Strömungsquerschnitt im wesentlichen aus der Multiplikation des Umfangs der Ventilöffnung mit dem Abstand zwischen Ventilklappe und Auflagestruktur ergibt.

[0011] Andererseits ist die Querschnittsfläche der

Ventilöffnung für die Fluidkraft oder im Falle eines Gases als Fluid pneumatische Kraft, die auf die Ventilklappe wirkt, maßgeblich.

[0012] Der Erfindung liegt daher die Erkenntnis zugrunde, daß zum Erreichen eines möglichst geringen Strömungswiderstandes, d.h. eines möglichst hohen Fluiddurchflusses, folgende Maßnahmen unternommen werden müssen:

- der Umfang der Ventilöffnung muß bei gegebener pneumatisch wirksamer Fläche optimiert werden;
- der Strömungswiderstand der Zuleitungen muß durch Vergrößerung der Querschnittsflächen für die Strömung in den Zuleitungen minimiert werden;
- zur Verringerung des Strömungswiderstandes der Zuleitungen müssen diese ferner verkürzt werden, was durch Bilden von geeigneten Löchern in der Ventilklappe erreicht wird; und
- zum Erreichen eines minimalen Strömungswiderstandes bei geöffnetem Ventil muß die Länge der Ventilöffnungen minimal sein.

[0013] Alle diese Maßnahmen dienen dem Ziel, die pneumatische Kraft auf die Ventilklappe zu minimieren, damit sie für das Betreiben des Ventils vernachlässigt werden kann.

[0014] Ferner müssen bei allen obigen Betrachtungen zusätzliche Randbedingungen berücksichtigt werden, wie z.B. ein minimaler Platzbedarf des Mikroventils, eine ausreichende Stabilität für mechanische und pneumatische Anforderungen sowie möglichst geringe Kosten durch Auswahl geeigneter Materialien und durch Beschränkung auf eine minimale Anzahl von Herstellungsschritten.

[0015] Bei dem erfindungsgemäßen Mikroventil soll somit der Einfluß der pneumatischen Kraft minimiert werden. Die Öffnungs- und Schließkräfte des Fluids auf die Ventilklappe sollen im wesentlichen nicht durch das Fluid bewirkt werden, sondern von außen an das Mikroventil angelegt werden. Wenn der Einfluß der pneumatischen Kräfte ganz vernachlässigt werden könnte, wäre es möglich, das Mikroventil in beiden Richtungen zu betreiben. Im Gegensatz dazu sieht der Stand der Technik keine öffnende Kraft vor, sondern diese Kraft wird allein durch die pneumatische Kraft bewirkt. Dieses bekannte Ventil ist also in der Tat ein Ventil, das nur in einer Richtung betrieben werden kann.

[0016] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen detaillierter erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine prinzipielle Darstellung eines Mikroventils;

- Fig. 2A eine prinzipielle Darstellung eines Mikroventils, das eine Maßnahme zum Verringern des Strömungswiderstandes darstellt;
- 5 Fig. 2B eine prinzipielle Darstellung eines Mikroventils, das eine weitere Maßnahme zum Verringern des Strömungswiderstandes darstellt;
- Fig. 2C eine prinzipielle Darstellung eines Mikroventils, das noch eine weitere Maßnahme zum Verringern des Strömungswiderstandes darstellt;
- 10 Fig. 3 eine prinzipielle Darstellung eines Mikroventils, bei dem die Maßnahmen der Figuren 2A bis 2C kombiniert sind;
- Fig. 4A eine schematische Draufsicht auf eine Auflagestruktur eines erfindungsgemäßen Mikroventils;
- 20 Fig. 4B eine schematische Draufsicht auf eine weitere Auflagestruktur gemäß der vorliegenden Erfindung;
- 25 Fig. 5 eine schematische Draufsicht auf eine Ventilklappe sowie die darunterliegende Auflagestruktur, um die gegenseitige Anordnung von Ventilkappenöffnungen und Ventilöffnungen darzustellen; und
- 30 Fig. 6 eine prinzipielle Darstellung eines Mikroventils gemäß dem Stand der Technik;
- 35 [0017] Fig. 1 zeigt schematisch einen Ausschnitt aus einem Mikroventil 10 in Querschnittsdarstellung, dessen Strömungswiderstand optimiert werden soll. Das Mikroventil 10 weist eine Auflagestruktur 12 mit einer Ventilöffnung 14 und eine Ventilklappe 16 auf. Ein Pfeil 18 deutet eine Fluidströmung an, die durch das Mikroventil 10 gesteuert werden soll. Das Ventil 10 aus Fig. 1 sowie alle anderen im weiteren beschriebenen Mikroventile sind jedoch auch für die andere Fluidflußrichtung einsetzbar, auch wenn es nicht explizit gesagt wird. Mittels beispielsweise elektrostatischer Kräfte kann die Ventilklappe 16 bezüglich der Auflagestruktur 12 bewegt werden, derart, daß die Ventilöffnung 14 durch die Ventilklappe 16 geschlossen werden kann. Es ist jedoch nicht möglich, die Klappe mit elektrostatischen Kräften zu öffnen. Theoretisch können zwar auf die beiden Elektroden (Klappe und Auflagestruktur) gleichnamige elektrische Ladungsträger aufgebracht werden, die sich abstoßen. Die entgegengesetzten Ladungsträger, an denen die elektrischen Feldlinien enden, befinden sich aber weit weg, wie z.B. an einem metallischen Gehäuse. Die Kapazität dieser Anordnung ist aber so klein, daß bei gegebener Spannung fast keine gleichnamigen Ladungsträger auf Ventilklappe und Auflagestruktur ge-
- 50
- 55

bracht werden können. In der Praxis sind daher elektrostatische Kräfte immer anziehend. Die öffnende Kraft für das Mikroventil ist dann beispielsweise einen mechanische Vorspannung, z.B. durch eine federnde Aufhängung der Ventilklappe, oder eine verkippte Montage der Klappe oder eine Kraft durch eine geeignete piezoelektrische Beschichtung.

**[0018]** Bei dem Mikroventil 10 bestehen sowohl die Ventilklappe 16 als auch die Auflagestruktur 12 aus Silizium. Für Fachleute ist es offensichtlich, daß auch die Auflagestruktur 12 bezüglich der Ventilklappe 16 bewegt werden kann, je nach dem, welches der beiden Elemente fest bzw. elastisch gelagert ist.

**[0019]** Im Spannungs- bzw. drucklosen Zustand ist die Ventilklappe 16 einige Mikrometer von der Auflagestruktur 12 beabstandet, wodurch die Ventilöffnung 14 geöffnet ist.

**[0020]** Das Mikroventil 10 wird durch das Anlegen einer elektrischen Spannung (nicht gezeigt) zwischen der Auflagestruktur 12 und der Ventilklappe 16 betätigt. Dabei fließen Ladungen auf die sich gegenüberliegenden Seiten der beiden Bauteile. Diese Ladungen ziehen sich gegenseitig an, wodurch die Ventilklappe 16 zu der Auflagestruktur 12 hin bewegt wird. Für Fachleute ist es offensichtlich, daß es sich in Fig. 10 nur um eine schematische Ansicht handelt, da beispielsweise eine zwischen den beiden Komponenten 12 und 16 notwendige Isolationsschicht zum Verhindern eines Ladungsflusses zwischen denselben nicht gezeigt ist.

**[0021]** Ein derartiges Mikroventil weist aufgrund des elektrischen Antriebsprinzips einen sehr geringen Abstand zwischen Ventilklappe und Auflagestruktur auf. Dieser geringe Abstand zwischen der Ventilklappe und der Auflagestruktur beschränkt den Volumenstrom der Fluidströmung 18 durch die Ventilöffnung 14.

**[0022]** Die Fluidkraft oder im Falle eines Gases als Fluid die pneumatische Kraft wirkt bei dem Mikroventil in Fig. 1 in Schließrichtung des Mikroventils 10, wodurch die Zuleitungen 20 zu der Ventilöffnung 14 bei geöffnetem Zustand des Mikroventils 10 verkleinert werden, was wiederum die ungünstige Auswirkung hat, daß der Strömungswiderstand erhöht wird. In geschlossenem Zustand des Mikroventils 10 wirkt die pneumatische Kraft auf die Ventilklappe 16 lediglich auf die Fläche der Ventilklappe 16, die der Ventilöffnung 14 gegenüberliegt. Ist die Querschnittsfläche der Ventilöffnung groß, so kann es zu einer Zerstörung der Ventilklappe 16 bei einem entsprechenden pneumatischen Druck kommen. Die Druckfestigkeit des Mikroventils 10 kann daher durch Verkleinern der pneumatisch wirksamen Fläche erhöht werden. Bei einem gleichen pneumatischen Druck kann zum Erreichen einer gleichen Bruchfestigkeit dagegen die Dicke der Ventilklappe 16 verringert werden, wodurch eine weitere Miniaturisierung des Mikroventils 10 erreicht werden kann.

**[0023]** Fig. 2A stellt ein Mikroventil 50a gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung dar. Eine Ventilklappe 52 ist über einer Auflagestruktur

54 angeordnet. Die Auflagestruktur 54 weist eine Mehrzahl von Ventilöffnungen 56 auf, durch die eine Fluidströmung 58, die durch die in Fig. 2A gezeichneten Pfeile schematisch dargestellt ist, fließen kann. Auf der der Ventilklappe 52 gegenüberliegenden Seite weist die Auflagestruktur 54 eine Ausnehmung auf, die einen Steg 60 der Auflagestruktur 54 definiert. Für Fachleute ist es offensichtlich, daß es sich in Fig. 2A um einen Querschnitt handelt, der durch die Mitten der Mehrzahl von Ventilöffnungen 56 gelegt ist, derart, daß der Steg 60 in der Figur stückweise erscheint. Für Fachleute ist es jedoch offensichtlich, daß der Steg 60 der Auflagestruktur 54 ein flächiger Abschnitt mit im Vergleich zu den Randabschnitten der Auflagestruktur 54 geringerer Dicke ist. Ferner sei angemerkt, daß die Fig. 2A nicht maßstäblich bezüglich der Fig. 1, die im Zusammenhang mit dem Stand der Technik beschrieben wurde, dargestellt ist. Der Öffnungsquerschnitt der Ventilöffnung 14 von Fig. 1 soll nämlich der Fläche des Stegs 60, d.h. dem Abschnitt der Auflagestruktur 54 mit geringerer Dicke, entsprechen. Dadurch wird bei gleicher Größe der Mikroventile 10 von Fig. 1 und 50a von Fig. 2A der Strömungsquerschnitt, d.h. das Produkt der Summe des Umfangs jeder der Mehrzahl von Ventilöffnungen 56 mit dem Abstand zwischen der Ventilklappe 52 und der Auflagestruktur 54, wesentlich erhöht, wohingegen die pneumatische wirksame Fläche nicht vergrößert wird. Anders ausgedrückt ist der Ventilöffnungsquerschnitt einer einzelnen Ventilöffnung 56 viel kleiner als der Ventilöffnungsquerschnitt der Ventilöffnung 14 von Fig. 1.

**[0024]** Der durch die Ausnehmung definierte Steg 60 in Fig. 2A verkleinert wirksam die Länge der Ventilöffnungen 56, um sie im Rahmen der Stabilitätsanforderungen an die Auflagestruktur 54 für einen minimalen Strömungswiderstand zu optimieren. Die Ausnehmung in der Auflagestruktur 54, die ebenso wie die Ventilklappe 52 aus Silizium besteht, wird beispielsweise naßchemisch mittels KOH auf die geforderte Dicke des Stegs 60 vorgeätzt. Eine derzeit vorhandene Trockenätzung ist zur Herstellung der Ausnehmung nicht geeignet, da sie mit z.B. 300 µm zu dick ist. In dieser Membran, d.h. in dem Steg 60, werden dann viele Öffnungen beispielsweise mittels einer KOH-Ätzung oder durch Trockenätzung realisiert, da der Steg im wesentlichen dünner als 100 µm ist.

**[0025]** Würde nun beispielsweise die Fluidströmung 58 von Fig. 2A umgekehrt, damit sie der Fluidströmung 180 in Fig. 6 entspricht, so würde das Mikroventil 50a aus Fig. 2A einen wesentlich niedrigeren Strömungswiderstand aufweisen, da die Länge der Ventilöffnungen 56 im Vergleich zu den Ventilöffnungen 140 durch die genannte Vorätzung der Silizium-Auflagestruktur 54 wesentlich kürzer gemacht werden kann. Ferner entfällt bei dem Mikroventil 50a in Fig. 2A die aufwendige Verarbeitung von 2 Komponenten, da die Auflagestruktur 120 in Fig. 6 aus Glas gebildet ist, während die Ventilklappe 160 in Fig. 6 aus Silizium besteht.

**[0026]** Fig. 2B zeigt eine weitere Möglichkeit, um das Mikroventil 50a von Fig. 2A strömungstechnisch zu verbessern. Gleiche Teile in Fig. 2B sowie in allen weiteren Figuren bezüglich Fig. 2A sind mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet. Im Unterschied zu Fig. 2A ist in Fig. 2B an der an die Ventilklappe 52 angrenzenden Seite der Auflagestruktur 54 um jede Ventilöffnung 56 herum eine Vertiefung 62 gebildet. Diese Vertiefung 62 wird von der Ventilöffnung 56 durch eine Dichtungskante 64 getrennt. Das in Fig. 2B gezeigte Mikroventil weist einen wesentlich niedrigeren Zuleitungswiderstand auf, da der Abstand zwischen der Ventilklappe 52 und der Auflagestruktur 54 in der Vertiefung 62 vergrößert ist. Die Variante nach Fig. 2B sorgt dennoch durch die Dichtungskante 64 für eine zuverlässige Steuerung der Fluidströmung 58. Ferner kann auf die Herstellung der Vertiefungen verzichtet werden und die Dichtungskante gewissermaßen als inverse Vertiefung z.B. durch Schichtabscheidung hergestellt werden. Im Vergleich zur Höhe der Dichtungskante ist somit ebenfalls eine Vertiefung vorhanden.

**[0027]** Im Gegensatz zu Fig. 2A weist das Mikroventil aus Fig. 2C eine Mehrzahl von Öffnungen 66 in der Ventilklappe 52 auf, die auch als Ventilkappenöffnungen bezeichnet werden. Durch Vorsehen der Ventilkappenöffnungen 66 in der Ventilklappe 52 ist es ebenfalls möglich, den Zuleitungswiderstand zu der Ventilöffnung 56 zu verringern, indem die Länge des Zuleitungswegs im Vergleich zu Fig. 2A verkürzt wird. Die Ventilkappenöffnungen können entweder naßchemisch oder trocken geätzt werden, da die Dicke der Ventilklappe meistens kleiner als 100 µm ist. Zusammenfassend läßt sich anmerken, daß durch die Maßnahme, die in Fig. 2B gezeigt ist, d.h. die Vertiefungen 62, der Strömungsquerschnitt der Zuleitungen verkleinert wird, während in Fig. 2C die Länge der Zuleitungen zu der Ventilöffnung 56 reduziert werden.

**[0028]** Fig. 3 zeigt ein Mikroventil 50b gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Das Mikroventil 50b weist gegenüber dem Mikroventil 50a einen minimalen Strömungswiderstand für die Fluidströmung 58 auf, indem die in den Fig. 2B und 2C beschriebenen Maßnahmen zur Verringerung des Strömungswiderstandes in das Mikroventil 50a von Fig. 2A eingeführt werden. Die Ausführung der Ventilklappe 52 mit einer Mehrzahl von Ventilkappenöffnungen 66 versetzt zu der Mehrzahl von Ventilöffnungen 56 liefert einen maximalen Ventilöffnungsumfang im Vergleich zur gegebenen pneumatischen Fläche. Das Vorsehen der Vertiefungen 62 zusammen mit den Dichtungskanten 64 verringert wirksam den Zuleitungswiderstand von der Ventilklappe 52 durch die Mehrzahl von Ventilöffnungen 56 der Auflagestruktur 54.

**[0029]** Fig. 4A zeigt eine schematische Draufsicht auf die Auflagestruktur 54, wobei die Vertiefungen sowie die Dichtungskanten aus Klarheitsgründen weggelassen wurden. Die Auflagestruktur von Fig. 3 ergibt sich aus einem Querschnitt entlang der Linie I-I von Fig. 4A. Die

Mehrzahl von Ventilöffnungen 56 sind hierbei mehrere rechteckige parallel zueinander angeordnete Ventilöffnungen. Für Fachleute ist es jedoch offensichtlich, daß die Mehrzahl von Ventilöffnungen, wenn es notwendig ist, auch gekrümmte oder dreieckige Strukturen annehmen können.

**[0030]** Fig. 4B zeigt eine weitere Modifikation der Auflagestruktur 54 von Fig. 4A. Um den aufaddierten Umfang aller Ventilöffnungen im Vergleich zur pneumatisch wirksamen Fläche noch weiter zu erhöhen, sind die rechteckigen Ventilöffnungen 56 von Fig. 4A in mehrere quadratische Ventilöffnungen 56 unterteilt worden. Es ergibt sich somit für die Auflagestruktur 54 eine Art einer Siebstruktur. Fig. 3 kann also auch ein Querschnitt durch die Auflagestruktur 54 von Fig. 4B entlang der Linie II-II sein. Die Mehrzahl der Ventilöffnungen 56 in Fig. 4B sind jedoch nicht auf quadratische Löcher beschränkt. Die Löcher können beispielsweise auch eine runde, ovale oder eine sonstige geeignete Form annehmen. An dieser Stelle sei noch einmal in Erinnerung gerufen, daß die Auflagestruktur 54, die als ein Chip realisiert wird, vorgeätzt werden muß, damit sich der Steg 60, der wie bereits angemerkt wurde, ein flächiger Steg ist, gebildet wird. Dadurch kann die Länge der Ventilöffnungen auf ein Minimum eingestellt werden.

**[0031]** Fig. 5 zeigt eine schematische Draufsicht auf die Ventilklappe 52, wobei die versetzte Anordnung der Ventilkappenöffnungen 66 bezüglich der Ventilöffnungen 56, die in Fig. 5 schraffiert dargestellt sind, sichtbar ist. Für Fachleute ist es offensichtlich, daß Fig. 5 eine schematische Ansicht ist, da bei einer realen Draufsicht die Ventilöffnungen 56 nicht zu sehen wären, da sie durch die Ventilklappe 52 verdeckt sind. Aus Klarheitsgründen sind in Fig. 5 weder die Vertiefungen 62 um die Ventilöffnungen 56 herum sowie die Dichtungskanten 64, die die Vertiefungen 62 von den Ventilöffnungen 56 abgrenzen, gezeichnet. Die sogenannten "versetzten Siebgeometrien" des regelmäßigen oder unregelmäßigen Arrays von Ventilöffnungen 56 gegenüber dem regelmäßigen oder unregelmäßigen Array von Ventilkappenöffnungen 66 schaffen somit ein Mikroventil 50b, bei dem der Fluiddurchfluß bei minimal wirkender pneumatischer Fläche optimiert ist. Somit kann ein Fluid nach Öffnung der Ventilklappe 52, d.h. durch Erzeugen eines Abstands von der Ventilklappe 52 zu der Auflagestruktur 54, durch alle Ventilkappenöffnungen 66 hindurch auf minimalem Weg durch die Anordnung strömen.

## 50 Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Mikroventils (50a; 50b), mit folgenden Schritten:

Bereitstellen einer Ventilklappe (52);

Bereitstellen einer Auflagestruktur (54) aus Silizium;

gekennzeichnet durch folgende Schritte:

naßchemisches Ätzen einer Ausnehmung in der Auflagestruktur (54), um einen Bereich (60) verminderter Stärke der Auflagestruktur (54) zu erhalten, wobei sich die Ausnehmung von der der Ventilklappe (52) gegenüberliegenden Seite der Auflagestruktur (54) zu einer der Ventilklappe (52) gegenüberliegenden Seite des Bereichs (60) mit verminderter Stärke hin verjüngt, wenn die Auflagestruktur und die Ventilklappe zueinander angeordnet sind;

Ätzen einer Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) in den Bereich (60) verminderter Stärke der Auflagestruktur (54); und

Anordnen der Auflagestruktur (54) und der Ventilklappe (52) zueinander, derart, daß die Ausnehmung an der der Ventilklappe (52) entgegengesetzten Seite der Auflagestruktur (54) angeordnet ist, und daß die Ventilklappe bezüglich der Auflagestruktur beweglich ist, und daß die Ventilklappe in einer ersten Stellung die Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) verschließt und in einer zweiten Stellung von der Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) derart beabstandet ist, daß ein Strömungsquerschnitt, der durch die Mehrzahl von Ventilöffnungen und die Ventilklappe definiert ist, maßgeblich durch einen Abstand der Ventilklappe zu der Auflagestruktur bestimmt ist, um den die Ventilklappe von der zweiten Stellung zu bewegen ist, um die Mehrzahl von Ventilöffnungen zu schließen.

## 2. Mikroventil (50a; 50b) mit:

einer Ventilklappe (52); und

einer Silizium aufweisenden Auflagestruktur (54);

einer Mehrzahl von Ventilöffnungen (56);

dadurch gekennzeichnet daß, die Auflagestruktur (54) auf ihrer der Ventilklappe (52) entgegengesetzten Seite eine Ausnehmung aufweist, die einen Bereich (60) verminderter Stärke der Auflagestruktur (54) definiert, durch den sich die Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) erstreckt, daß die Ventilklappe (52) bezüglich der Auflagestruktur (54) beweglich ist und in einer ersten Stellung die Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) verschließt und in einer zweiten Stellung von der Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) derart beabstandet ist, daß ein Strömungsquerschnitt, der durch die Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) und die Ventilklappe (52) definiert ist, maßgeblich durch einen

Abstand der Ventilklappe zu der Auflagestruktur bestimmt ist, um den die Ventilklappe von der zweiten Stellung zu bewegen ist, um die Mehrzahl von Ventilöffnungen zu schließen; und daß sich die Ausnehmung von der der Ventilklappe (52) gegenüberliegenden Seite der Auflagestruktur (54) zu einer der Ventilklappe (52) gegenüberliegenden Seite des Bereichs (60) mit verminderter Stärke hin verjüngt.

3. Mikroventil (50b) gemäß Anspruch 2, bei dem die Ventilklappe (52) eine Mehrzahl von Ventilkappenöffnungen (66) aufweist, die zu den Ventilöffnungen (56) in der Auflagestruktur (54) versetzt angeordnet sind, derart, daß eine Fluidströmung (58) durch das Mikroventil (50b) gesteuert werden kann.

4. Mikroventil (50a; 50b) gemäß Anspruch 2 oder 3, bei dem um die Ventilöffnungen (56) in der Auflagestruktur (54) herum Vertiefungen (62) oder Erhöhungen gebildet sind, wobei die Vertiefungen (62) durch Dichtungskanten (64) von den Ventilöffnungen (56) getrennt sind, während die Erhöhungen die Dichtungskanten (64) sind.

5. Mikroventil (50a; 50b) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem die Ventilklappe (52) ebenfalls aus Silizium besteht.

6. Mikroventil gemäß einem der Ansprüche 2 bis 5, bei dem die Ausnehmung mittels einer KOH-Ätzung hergestellt ist, während die Ventilöffnungen (56) und die Ventilkappenöffnungen (66) durch naßchemische Ätzung oder trockenchemisch geätzt sind.

7. Mikroventil (50a; 50b) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 6, bei dem die Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) eine Mehrzahl von im wesentlichen parallelen Rechtecken ist.

8. Mikroventil (50a; 50b) gemäß einem der Ansprüche 2 bis 6, bei dem die Mehrzahl von Ventilöffnungen (56) eine Mehrzahl von in einem regelmäßigen oder unregelmäßigen Array angeordneten Öffnungen ist.

9. Mikroventil (50a; 50b) gemäß Anspruch 8, bei dem die Ventilöffnungen (56) rechteckförmig, rund oder oval sind.

10. Mikroventil gemäß einem der Ansprüche 3 bis 9, bei dem die Mehrzahl der Ventilkappenöffnungen (66) versetzt zu den jeweiligen Ventilöffnungen (56) in der Auflagestruktur (54) angeordnet und geformt sind, derart, daß bei geschlossener Ventilklappe

(52) kein Durchgang zwischen der Ventilkappen-  
seite und der Auflagestructurseite vorhanden ist.

## Claims

1. Method for manufacturing a microvalve (50a; 50b),  
comprising:

providing a valve flap (52);

providing a supporting structure (54) of silicon;

characterized by the following steps:

wet-chemical etching of a recess into the sup-  
porting structure (54), to obtain an area (60) of  
reduced strength of the supporting structure  
(54), with the recess from the valve flap's (52)  
opposing side of the supporting structure (54)  
subtending towards a valve flap's (52) oppos-  
ing side of the area (60) with reduced strength,  
when the supporting structure and the valve  
flap are arranged with respect to each other;

etching of a plurality of valve openings (56) into  
the area (60) of reduced strength of the sup-  
porting structure (54); and

arranging the supporting structure (54) and the  
valve flap (52) with respect to each other such  
that the recess is arranged at the valve flap's  
(52) opposing side of the supporting structure  
(54), and that the valve flap is moveable with  
respect to the supporting structure, and that the  
valve flap closes in a first position the plurality  
of valve openings (56) and is in a second posi-  
tion spaced apart from the plurality of valve  
openings (56), such that a flow area, defined  
by the plurality of valve openings and the valve  
flap, is decisively determined by the distance of  
the valve flap to the supporting structure, by  
which the valve flap is movable from the second  
position, to close the plurality of valve open-  
ings.

2. Microvalve (50a; 50b), comprising:

a valve flap (52); and

a supporting structure (54) comprising silicon;

a plurality of valve openings (56);

characterized in that,

the supporting structure (54) having a recess on the  
valve flap's (52) opposing side, which defines an ar-  
ea (60) of reduced strength of the supporting struc-

ture (54), through which the plurality of valve open-  
ings (56) extend,

that the valve flap (52) is moveable with respect to  
the supporting structure (54) and closes the plurality  
of valve openings (56) in a first position and is  
spaced apart from the plurality of valve openings  
(56) in a second position such that a flow area which  
is defined by the plurality of valve openings (56) and  
the valve flap (52) is decisively determined by a dis-  
tance of the valve flap with respect to the supporting  
structure, by which the valve flap is moveable from  
the second position to close the plurality of valve  
openings; and

that the recess of the valve flap's (52) opposing side  
of the supporting structure (54) subtends towards a  
valve flap's (52) opposing side of the area (60) with  
reduced strength.

3. Microvalve (50b) in accordance with claim 2,  
wherein the valve flap (52) comprises a plurality of  
valve flap openings (66), which are offset with re-  
spect to the valve openings (56) in the supporting  
structure (54), such that a fluid flow (58) may be  
controlled by the microvalve (50b).

4. Microvalve (50a; 50b) in accordance with claim 2 or  
3,  
wherein, around the valve openings (56) in the sup-  
porting structure (54), depressions (62) or eleva-  
tions are formed, the depressions (62) being sepa-  
rated from the valve openings (56) by seal edges  
(64), while the elevations are the seal edges (64).

5. Microvalve (50a; 50b) in accordance with one of  
claims 2 to 4,  
wherein the valve flap (52) also consists of silicon.

6. Microvalve in accordance with one of claims 2 to 5,  
wherein the recess is produced by means of a KOH-  
etching, while the valve openings (56) and the valve  
flap openings (66) are etched by wet-chemical etch-  
ing or dry-chemical etching.

7. Microvalve (50a; 50b) in accordance with one of  
claims 2 to 6,  
wherein the plurality of valve openings (56) is a plu-  
rality of essentially parallel rectangles.

8. Microvalve (50a; 50b) in accordance with one of  
claims 2 to 6,  
wherein the plurality of valve openings (56) is a plu-  
rality of openings are arranged in a regular or irreg-  
ular array.

9. Microvalve (50a; 50b) in accordance with claim 8,  
wherein the valve openings (56) have a rectangular  
shape, a round shape or an oval shape.

FIG. 3  
26

10. Microvalve in accordance with one of claims 3 to 9, wherein the plurality of valve flap openings (66) is offset with respect to the respective valve opening (56) in the supporting structure and is shaped such that, when the valve flap is closed, there is no passage between the valve flap side and the supporting structure side.

#### Revendications

1. Procédé de fabrication d'une microsoupape (50a ; 50b), aux étapes suivantes consistant à :

préparer un clapet de soupape (52) ;  
préparer une structure d'appui (54) en silicium ;

**caractérisé par les étapes suivantes consistant à :**

réaliser une gravure chimique en humide d'un évidement dans la structure d'appui (54), pour obtenir une zone (60) d'épaisseur réduite de la structure d'appui (54), l'évidement s'effilant depuis le côté de la structure d'appui (54) opposé au clapet de soupape (52) vers un côté de la zone (60) d'épaisseur réduite opposé au clapet de soupape (52) lorsque la structure d'appui et le clapet de soupape sont disposés l'un par rapport à l'autre ;  
graver une pluralité d'ouvertures de soupape (56) dans la zone (60) d'épaisseur réduite de la structure d'appui (54) ; et  
disposer la structure d'appui (54) et le clapet de soupape (52) l'un par rapport à l'autre de sorte que l'évidement soit disposé du côté de la structure d'appui (54) opposé au clapet de soupape (52) et que le clapet de soupape soit mobile par rapport à la structure d'appui et que le clapet de soupape obture, dans une première position, la pluralité d'ouvertures de soupape (56) et est, dans une seconde position, distant de la pluralité d'ouvertures de soupape (56) de sorte qu'une section d'écoulement définie par la pluralité d'ouvertures de soupape et le clapet de soupape soit déterminée de manière décisive par une distance entre le clapet de soupape et la structure d'appui de laquelle doit être déplacé le clapet de soupape depuis la seconde position pour obturer la pluralité d'ouvertures de soupape.

2. Microsoupape (50a ; 50b), avec :

un clapet de soupape (52) ; et  
une structure d'appui (54) présentant du silicium ;  
une pluralité d'ouvertures de soupape (56) ;

**caractérisée par le fait que :**

la structure d'appui (54) présente, de son côté opposé au clapet de soupape (52), un évidement définissant une zone (60) d'épaisseur réduite de la structure d'appui (54) dans laquelle s'étend la pluralité d'ouvertures de soupape (56) ;

le clapet de soupape (52) est mobile par rapport à la structure d'appui (54) et obture, dans une première position, la pluralité d'ouvertures de soupape (56) et est, dans une seconde position, distant de la pluralité d'ouvertures de soupape (56) de sorte qu'une section d'écoulement définie par la pluralité d'ouvertures de soupape (56) et le clapet de soupape (52) soit déterminée de manière décisive par une distance entre le clapet de soupape et la structure d'appui de laquelle doit être déplacé le clapet de soupape depuis la seconde position pour obturer la pluralité d'ouvertures de soupape ; et  
l'évidement s'effile depuis le côté de la structure d'appui (54) opposé au clapet de soupape (52) vers un côté de la zone (60) d'épaisseur réduite opposé au clapet de soupape (52).

3. Microsoupape (50b) selon la revendication 2, dans laquelle le clapet de soupape (52) présente une pluralité d'ouvertures de clapet de soupape (66) disposées décalées par rapport aux ouvertures de soupape (56) dans la structure d'appui (54), de sorte que puisse être réglé un écoulement de fluide (58) à travers la microsoupape (50b).

4. Microsoupape (50a ; 50b) selon la revendication 2 ou 3, dans laquelle sont formés, autour des ouvertures de soupape (56) dans la structure d'appui (54), des creux (62) ou des élévations, les creux (62) étant séparés des ouvertures de soupape (56) par des bords d'étanchéité (64), tandis que les élévations sont les bords d'étanchéité (64).

5. Microsoupape (50a ; 50b) selon l'une des revendications 2 à 4, dans laquelle le clapet de soupape (52) est également réalisé en silicium.

6. Microsoupape selon l'une des revendications 2 à 5, dans laquelle l'évidement est réalisé à l'aide d'une gravure au KOH, tandis que les ouvertures de soupape (56) et les ouvertures de clapet de soupape (66) sont gravées par gravure chimique en humide ou gravure chimique en sec.

7. Microsoupape (50a ; 50b) selon l'une des revendications 2 à 6, dans laquelle la pluralité d'ouvertures de soupape (56) est une pluralité de rectangles sensiblement parallèles.



8. Microsoupape (50a ; 50b) selon l'une des revendications 2 à 6, dans laquelle la pluralité d'ouvertures de soupape (56) est une pluralité d'ouvertures disposées selon une rangée régulière ou irrégulière. 5
9. Microsoupape (50a; 50b) selon la revendication 8, dans laquelle les ouvertures de soupape (56) sont rectangulaires, rondes ou ovales.
10. Microsoupape selon l'une des revendications 3 à 9, 10  
dans laquelle la pluralité des ouvertures de clapet de soupape (66) sont disposées et formées décalées par rapport aux ouvertures de soupape (56) respectives dans la structure d'appui (54), de sorte 15  
que, lorsque le clapet de soupape (52) est fermé, il n'y ait pas de passage entre le côté de clapet de soupape et le côté de structure d'appui. 15

20

25

30

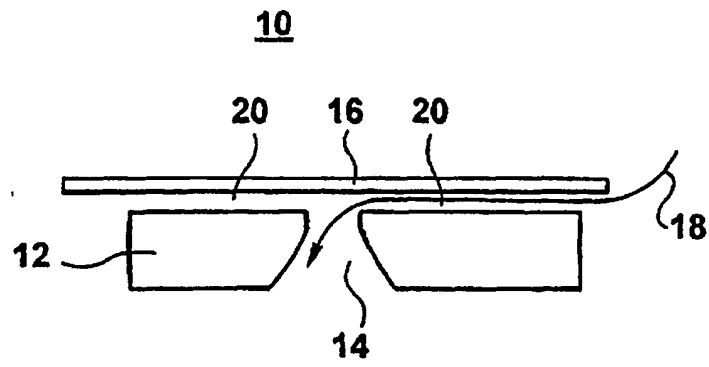
35

40

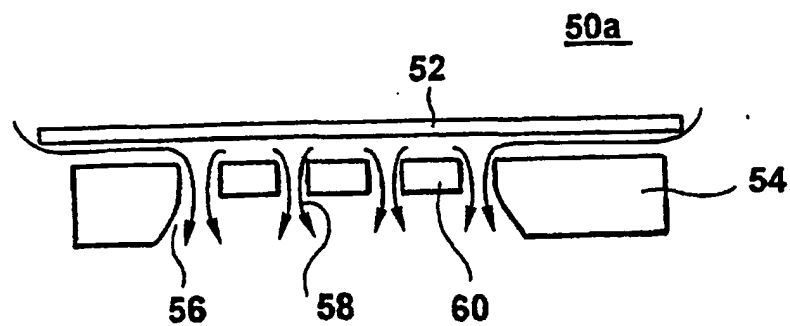
45

50

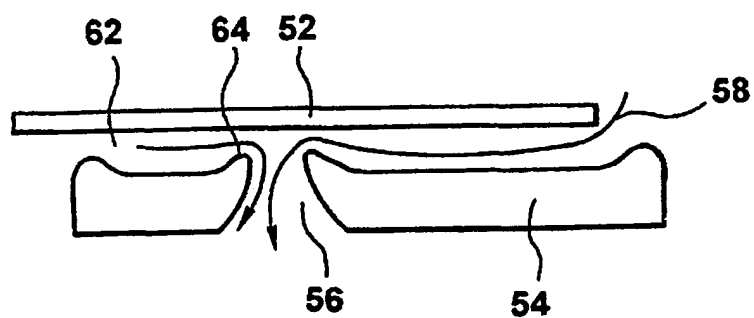
55



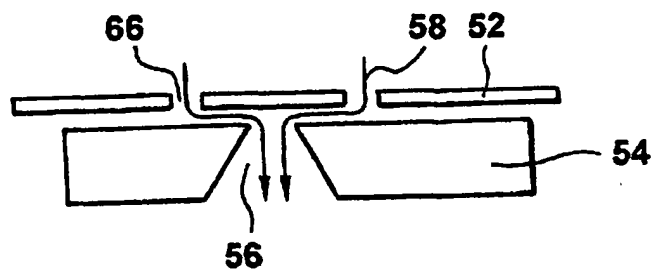
**FIG.1**



**FIG. 2A**



**FIG. 2B**



**FIG. 2C**

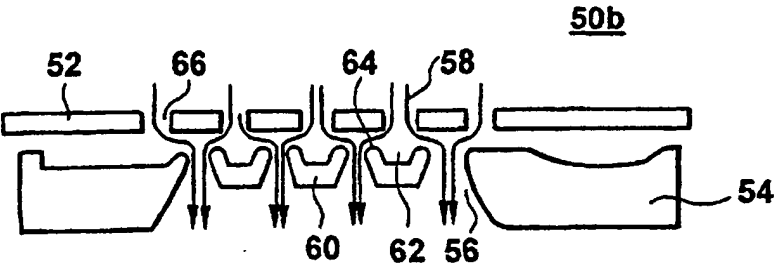


FIG. 3

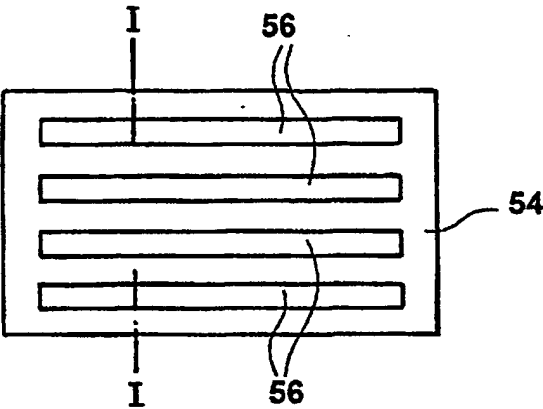


FIG. 4A

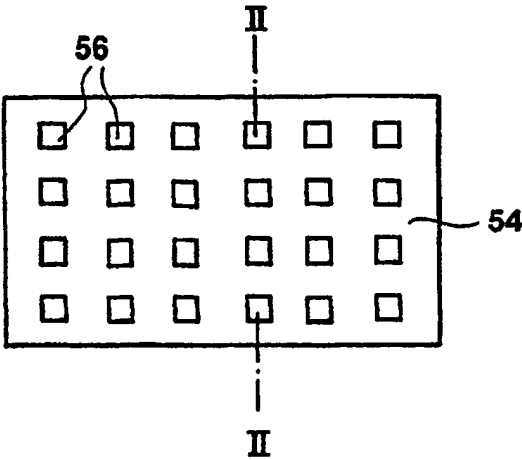
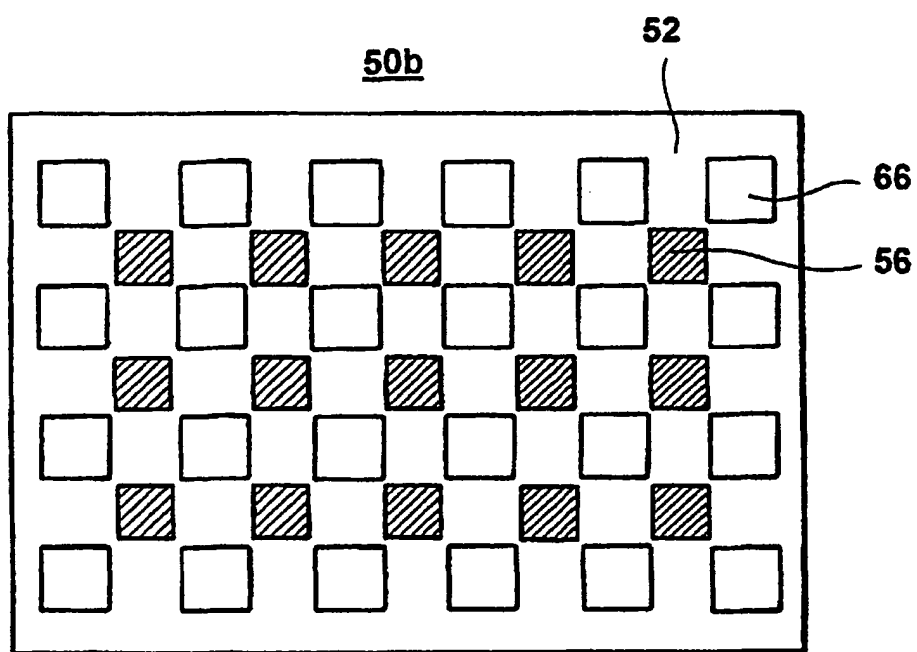
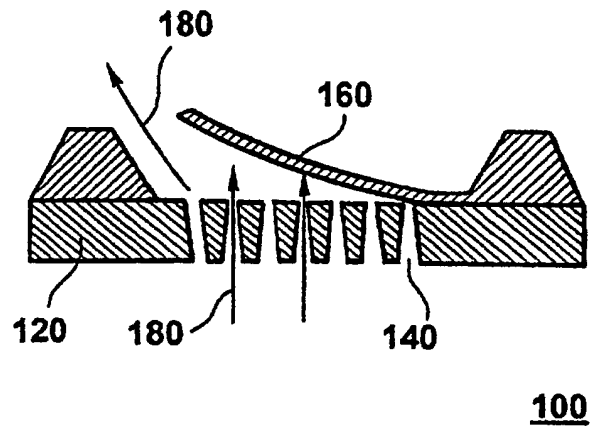


FIG. 4B



**FIG.5**



**FIG.6**  
**STAND DER TECHNIK**

## Description

The existing invention relates to valves for the control of a fluid flow, and especially to microvalves and procedures for their manufacture, wherein a valve flap is spaced only a little away from a support structure.

Figure 6 shows a cross-section view of a well known microvalve, described in US Patent number 4,585,209. A valve flap 160 is located over a support structure 120, which has a multiplicity of valve openings 140. This microvalve 100 is a valve that is normally closed.

The situation shown in Figure 6 refers to fluid flow 180 through the valve openings 140, enabled when the valve flap 160 moves into an open position. When a voltage is applied between the support structure 120 and the valve flap 160, the valve flap 160 will move toward the support structure 120 and close the microvalve 100, thus controlling the fluid flow 180. In the microvalve 100 in Figure 6, the support plate 120, which is provided with the valve openings 140, is made of glass, whereas the valve flap 160 consists of silicon. The multiplicity of valve openings 140 are bored in the glass plate 120 by means of a laser. As described in US Patent number 4,585,209, the glass plate 120 can be etched by means of a suitable high frequency etch method, but in this case only a single valve opening, and not a multiplicity of openings, can be formed. Figure 6 shows that, while the support structure 120 consists of a multiplicity of valve openings, the openings to the right of the figure cannot contribute especially much to the fluid flow 180, because the fluid flow 180 is strongly obstructed by the unilaterally situated valve flap 160. The valve openings located on the left side therefore supply the predominant portion of the fluid flow, so that an *effective* valve opening cross-section for this well known microvalve is substantially smaller than the *actual* valve opening cross-section.

Furthermore, the outlet of the fluid flow 180 is limited through the slight separation between the tip of the valve flap 160 and the left stop structure of the valve flap. Moreover, due to the laser hole-boring process, the valve openings have a conical shape which narrows in the direction of fluid flow, which also increases the fluid resistance of the microvalve 100. US patent number 4,538,642 discloses a fast-response mechanical valve, which first demonstrates a micro-porous, planar, electrically conductive structural element 4, comprised of a multiplicity of openings 55. The openings of the first electrically conductive film are offset relative to openings in a second micro-porous, planar, electrically-conductive structural element. The upper and lower films consist of aluminum. An electrically insulating aluminum oxide film is affixed to the upper film. The upper and lower films are shorted electrically at one end, while an electrical voltage can be applied on the other. The electrical nature of the films causes an electrical flow in the upper film in one direction, and in the opposite direction in the lower film. This electrical flow stream in opposite directions through the parallel, electrically conductive films drives them away from each another by means of the induced, opposed electromagnetic fields from one another; in this manner, an opening of the valve is achieved.

German patent DE 4402096A1 discloses a microminiature valve with a crystalline substrate. The valve demonstrates a flow path, and a raised valve seat structure. The valve seat substrate is comprised of a single valve opening, over which lies a gate which can close the valve opening. In the closed position the gate contacts the valve seat, which spans the seat substrate, and which is formed in the manner of a sealing ring around the valve opening. Different arrangements of the valve seat with respect to the sealing flanges around the single valve opening are disclosed, which reduce the flow resistance.

The task of the existing invention therefore is to create a microvalve with minimal flow resistance.

This task is achieved through a procedure in accordance with claim 1, as well as through a microvalve in accordance with claim 2.

In a microvalve, the location with the smallest flow cross-section limits the fluid flow through the microvalve. Based on electrostatically operated microvalves, it is not the small available gap between the valve flap and the support structure which determines the cross-sectional area of the valve opening for the fluid flow, but rather the circumference of the valve opening, whereby the effective flow cross-section results essentially from the multiplication of the circumference of the valve opening with the gap between the valve flap and the support structure.

On the other hand, the cross-sectional area of the valve opening is important for the fluid force (or, in the case of a gas as a fluid, pneumatic force) that influences the valve flap.

Underlying the invention stands the recognition that, to achieve the lowest possible flow resistance (that is, the highest possible fluid flow), the following measures must be undertaken:

- the circumference of the valve opening must be optimized with the given effective pneumatic surface area;
- the flow resistance of the inlet pipes must be minimized by enlargement of the cross-sectional area for the current in the inlet pipes;
- to the reduction of the flow resistance of the inlet pipes these must become furthermore shortened, which can be achieved forming suitable holes in the valve flap; and
- to achieve a minimal flow resistance in the opened valve, the length of the valve openings must be minimal.

All these measures serve the goal of minimizing the pneumatic force on the valve flap, so that it can be neglected for the operation of the valve.

Furthermore, according to the preceding discussion, additional constraints must be considered, as for instance a minimal space requirement of the microvalve, sufficient



stability for mechanical and pneumatic requirements, as well as lowest possible cost through selection of suitable materials and through minimizing the number of manufacturing steps.

In the microvalve according to the present invention, the influence of the pneumatic force should be minimized. The opening and closing forces of the fluid on the valve flap are not supposed to be caused essentially by the fluid, but rather are designed to come from outside the microvalve. If the influence of the pneumatic forces could be completely neglected, it would be possible to operate the microvalve in both directions. In contrast, the state of the art allows for no opening force other than pneumatic force, leading to a valve that can in actuality be operated only in one direction.

Preferred embodiments of the existing invention are elucidated in greater detail through the following drawings. These show:

Fig. 1 a fundamental representation of a microvalve;

Fig. 2A a fundamental representation of a microvalve, that provides a means for reducing the flow resistance;

Fig. 2B a fundamental representation of a microvalve, that provides a further means for reducing the flow resistance;

Fig. 2C a fundamental representation of a microvalve, that provides a further means for reducing the flow resistance;

Fig. 3 a fundamental representation of a microvalve, in which the provisions of figures 2A through 2C are combined;

Fig. 4A a schematic plan view of a support structure of an erfindungsgemäßen microvalve in accordance with the invention;

Fig. 4B a schematic plan view of a further support structure in accordance with the existing invention;

Fig. 5 a schematic plan view of a valve flap as well as the underlying support structure, depicting the mutual arrangement of valve flaps openings and valve openings; and

Fig. 6 a fundamental representation of a microvalve in accordance with the state of the art;

Fig.1 shows schematically a cross-section through a microvalve 10, through which the flow resistance is to be optimized. The microvalve 10 shows a support structure 12 with a valve opening 14 and a valve flap 16. Column 18 represents a fluid flow which is intended to be steered through microvalve 10. The valve 10 in Fig.1, as for all other described microvalves, can accommodate other fluid flow directions, even if it is not

explicitly so stated. For example, by means of electrostatic forces, the valve flap 16 can be moved relative to the support structure 12, so that the valve opening 14 can be closed by valve flap 16. It is, however, not possible to open the flap with electrostatic forces. Theoretically, equal electric charges can be applied to each electrode (flap and support structure) which repel each other. But the opposing charges, at which the electric field lines of force terminate, are too far away, as for example at a metal housing. The capacitance of this arrangement is so small that at the given voltage practically no equal charges can be brought to the valve flap and the support structure. In engineering practice therefore, electrostatic forces are always attracting. The opening force for the microvalve must therefore be a mechanical tension such as a spring-suspended valve flap, or a tilted mounting of the flap, or a force provided by a special piezoelectric layering.

In the microvalve 10 both the valve flap 16 and the support structure 12 consist of silicon. For those trained in the art, it is also obvious that the valve flap 16 can move relative to the support structure 12, which movement can be either elastic or stiff.

In the tension 'off' and/or pressure 'off' condition, the valve flap 16 is separated from the support structure 12 by several micrometers, whereby the valve opening 14 is opened.

The microvalve 10 becomes energized through the application of an electric voltage (not shown) between the support structure 12 and the valve flap 16. The voltage causes electric charges to flow on opposite sides of both components. These charges attract (?) each other, whereby the valve flap 16 moves away from the support structure 12. It is obvious to those trained in the art that Fig. 10 is only a schematic view, because for example the necessary isolation layer to prevent electrical current flow between components 12 and 16 is not shown.

A similar microvalve, actuated electrically, achieves only a very slight gap between valve flap and support structure. This slight gap between the valve flap and the support structure restricts the volumetric flow of the fluid flow 18 through the valve opening 14.

The fluid force, or in the case of a gas, the pneumatic force, is applied to the microvalve in Fig. 1 in the 'closed' position of microvalve 10; as a result the incoming channels to valve opening 14 are reduced when microvalve 10 is opened, with the undesirable result that the flow resistance is elevated. In the case of closed microvalve 10, the pneumatic force is applied to the valve flap 16 only on the surface of valve flap 16 which is opposite to valve opening 14. If the cross section of the surface of the valve opening is large it can result in the destruction of valve flap 16 by a corresponding pneumatic pressure. The pressure yield strength of micro valve 10 can thus be increased by reducing the effective pneumatic surface. For a constant pneumatic pressure, the thickness of valve flap 16 can be reduced to achieve the same yield strength thereby making possible further miniaturization of microvalve 10.

Fig.2A presents a microvalve 50a according to the first design example of the subject invention. A valve flap 52 is arranged over a support structure 54. The support structure shows a number of valve openings through which a fluid stream 58, which is represented schematically in the columns of Fig.2A, can flow. On the side opposite valve flap 52, the support structure 54 shows a design which illustrates a crosspiece 60 of the support structure 54. For those trained in the art, it is obvious that Fig.2A involves a cross section which is so laid out that it goes through the center of the numerous valve openings in such a way that crosspiece 60 appears in sections in the figure. For technical personnel it is also obvious that the crosspiece 60 of the support structure 54 presents a flatter section of diminished thickness in comparison with the edge section of support structure 54. Additionally it should be noted that Fig.2A is not dimensionally consistent with Fig.1 which was presented in the engineering status report. The cross section of valve opening 14 of Fig.1 should correspond to the surface of the crosspiece 60, that is the cut-off of the support structure 54 with diminished thickness. As a result, for equal sized microvalves 10 of Fig.1 and 50a of Fig.2A the flow cross section, that is the product of the sum of the periphery of each of the numerous valve-openings 56 with the gap between valve flap 52 and the support structure 54, is considerably increased, whereas the pneumatic effective surface is not enlarged. In other words, the valve opening cross section of a single valve opening 56 is much smaller than the valve opening cross section of valve opening 14 of Fig.1.

The crosspiece 60, defined by the recess in fig. 2A, reduces effectively the length of the valve openings 56, in order to optimize it for a minimum flow resistance while meeting the stability requirements of the support structure 54. The recess in the support structure 54, which consists of silicon (just as as the valve flap 52), can be etched (for example, wet chemically by means of KOH) to achieve the required thickness of the crosspiece 60. Presently available dry etching techniques are not suited to the manufacture of the recess because it is too thick (300  $\mu\text{m}$ ). Many openings in this diaphragm, including the crosspiece 60, can be realized by means of either wet KOH etching or dry chemical etching, because the crosspiece is essentially thinner than 100  $\mu\text{m}$ .

If for example the fluid flow 58 of Fig.2A were reversed, so that it is in conformance with fluid stream 180 in Fig.6, the microvalve 50a of Fig.2A would present considerably lower flow resistance, since the length of valve opening 56 compared to valve opening 140 could be considerably shortened by the aforementioned etching of the silicon support structure 54. In addition the cost of making two components of microvalve 50a in Fig.2A can be avoided since the support structure 120 in Fig.6 is made of glass whereas valve flap 160 in Fig.6 is made of silicon.

Fig.2B shows an additional possibility to improve the inflow design of microvalve 50a of Fig.2A. Similar parts in Fig.2B, as well as in all subsequent diagrams related to Fig.2A, are labelled with the same designations. As distinguished from Fig.2A, in Fig.2B a depression 62 is shown in the valve flap 52-bordering side of the support structure 54 around each valve opening 56. This depression 62 is separated from valve opening 56 by a gasket edge 64. The microvalve shown in Fig.2B presents a considerably lower flow resistance since the gap between valve flap 52 and support structure 54 is enlarged by the

depression 62. The variations in Fig.2B provide a reliable control of the fluid stream 58 through the gasket edge 64. In addition one can neglect the manufacture of the depressions and the gasket edges can be made as inverse depressions by means of layer separations. In comparison with the height of the gasket edge a depression is thus created.

In contrast to Fig.2A the microvalve from Fig.2C exhibits a multiplicity of openings 66 in the valve - Fig.2C a number of openings 66 in valve flap 52, which are also designated as valve flap openings. By designing the valve flap openings 66 in valve flap 52, it is also possible to lower the flow resistance, since the length of the flow path compared to Fig.2A is shortened. The valve flap openings can be etched either by wet chemistry or dry since the thickness of the valve flap is mostly less than 100 micrometers. In summation it should be noted that through measures illustrated in Fig.2B, i.e. the depression 62, the flow cross-section of the flow paths are made smaller, while in Fig.2C the length of the flow paths to the valve opening 56 is reduced.

Fig.3 shows a micro-valve 50b in accordance with a second operational example of this invention. Microvalve 50b experiences a minimal flow resistance for fluid flow 58 compared to microvalve 50a, when the means described in Fig.2B and 2C for lowering the flow resistance in microvalve 50a of Fig. 2A have been introduced. The detail of valve flap 52, with numerous valve flap openings 66, offset to the number of valve openings 56, delivers a maximal valve opening environment in comparison to the given pneumatic surface. The design of the depth 62 as well as the edges of the gasket 64 lowers efficiently the flow resistance of valve flaps 52 through the numerous valve openings 56 of support structure 54.

Fig.4A shows a schematic plan view of the support structure 54, wherein the depressions as well as the edges of the gaskets are omitted for clarification reasons. The support structure of Fig.3 is seen as a cross-section along line I-I of Fig.4A. The numerous valve openings 56 are here rectangular valve openings arranged parallel to each other. To those trained in the art it is obvious that the numerous valve openings, when necessary, could be bent or triangular in structure.

Fig.4B shows a further modification of the support structure 54 from Fig.4A. In order to still further enhance the added circumference of all the valve openings in comparison with the pneumatic working surfaces, the rectangular valve openings 56 of Fig.4A were subdivided into many rectangular valve openings 56. This results in a sort of sieve structure for the support structure 54. Fig.3 may also represent a cross section through the support structure 54 of Fig.4B along the line II-II. The multiplicity of valve openings 56 in Fig.4B are not limited to rectangular holes. The holes could, for example, be round, oval, or some other similar form. At this point it is worth recalling that the support structure 54, which is considered as a Chip, has to be etched in advance so that crosspiece 60 is formed, as was indicated, as a surface crosspiece. This will result in enabling the length of the valve openings to be set at a minimum.

Figure 5 shows a schematic plan view of valve flap 52, in which one can see the changed orientation of valve flap openings 66 in relation to valve openings 56 which are cross-hatched in Fig.5. It is obvious to those trained in the art that Fig.5 is a schematic view since in a real top view the valve openings 56 would not be visible since they would be hidden by valve flap 52. For clarification purposes, in Fig.5 neither the depressions 62 around the valve openings 56 nor the edges of the gasket 64 which border on the depressions 62 of the valve openings are shown. The so-called "offset-sieve-geometries" of the regular or irregular arrays of valve openings 66, thus provide a microvalve 50b, by means of which the fluid flow can be optimized by minimizing the working pneumatic surface area. Thus, after opening valve 52, i.e. through the creation of a separation between the valve flap 52 and the supporting structure, fluid can stream through all valve flap openings 66 by the shortest route through the layout.

## Claims

1. A method for the production of a Microvalve (50a; 50b), with the following steps:
  - provided with a valve flap (52);
  - provided with a support (plate) structure (54) out of silicon;
  - wet chemical etching of a recess into the support (plate) structure (54) resulting in an area (60) of diminished strength of the support (plate) structure (54);
  - etching of a multiplicity of valve openings (56) into the area (60) of diminished strength of the support (plate) structure (54);
  - and placement of the support (plate) structure (54) and the valve flap together, in such a manner that the valve flap is movable with respect to the support (plate) structure, and that the valve flap in a first position blocks (covers, closes) the multiplicity of valve openings (56) and in a second position is distanced from the multiplicity of valve openings (56) in such a way that a flow stream cross-section (conduit?), defined by the multiplicity of valve openings and the valve flap, has a magnitude defined by the separation distance between the valve flap and the support (plate) structure.
2. A Microvalve (50a; 50b) with:
  - a valve flap (52);
  - and a silicon support (plate) structure (54) having a recess on the side opposite the valve flap (52), which recess defines an area (60) of diminished strength of the support (plate) structure (54), through which extends a multiplicity of valve openings (56)
  - whereby the valve flap (52) is movable with respect to the support (plate) structure (54), and in a first position blocks (covers, closes) the multiplicity of valve openings (56) and in a second position is distanced from the multiplicity of valve openings (56) in such a way that a flow stream cross-section, defined by the multiplicity of valve openings and the valve flap, has a magnitude defined by the separation distance between the valve flap and the support (plate) structure,

and where the recess of the side opposite the valve flap (52) of the support (plate) structure (54) reinforces the valve flap (52) of opposite side of the area (60) with diminished strength.

3. The Microvalve (50b) of claim 2,  
wherein the valve flap (52) contains a multiplicity of valve flap openings (66), staggered with respect to the valve openings (56) in the support (plate) structure (54), so that a fluid flow (58) can be controlled by the Microvalve (50b).
4. The Microvalve (50a; 50b) of claim 2 or 3,  
wherein depressions (62) or ridges are formed around the valve openings (56) in the support (plate) structure (54), whereby the depressions (62) are separated by sealing edges (64) from the valve openings (56), while the ridges are the sealing edges (64).
5. The Microvalve of claims 2 to 4,  
wherein the valve flap (52) consists also of silicon.
6. The Microvalve of claims 2 to 5,  
wherein the recess is produced by means of KOH etching, while the valve openings (56) and the valve flaps openings (66) are etched by wet chemical or dry chemical means.
7. The Microvalve (50a; 50b) of claims 2 to 6,  
wherein the multiplicity of valve openings (56) is a multiplicity of essentially parallel rectangles.
8. The Microvalve (50a; 50b) of claims 2 to 6,  
wherein the multiplicity of valve openings (56) is a multiplicity of openings arranged in a regular or irregular Array.
9. The Microvalve (50a; 50b) of claim 8,  
wherein the valve openings (56) are rectangles, round or oval.
10. The Microvalve (50a; 50b) of claims 3 to 9,  
wherein the multiplicity of the valve flaps openings (66) are arranged and formed staggered to the respective valve openings (56) in the support (plate) structure (54), so that when closed, the valve flap (52) allows no passageway (connection) between the valve flap side and the support (plate) structure side.